

RGBマルチカラー素子

ソニー株式会社 中央研究所
鬼島靖典

1. はじめに

有機電界発光素子（有機EL素子）は低電圧駆動、自己発光、薄型であるなどの特徴を持ち、次世代のフラットパネルディスプレイの候補として注目されている。有機ELの研究には、国内でも大学関係の他、民間企業も主要電機メーカー、化学会社等を含め40社以上が参入し、活発に研究開発が行なわれている。有機化合物による電界発光現象は1960年代前半にアントラセン単結晶での発光現象の発見に始まり、長い間、有機材料へのキャリア注入という基礎的研究として研究されていた。しかし、1987年にコダック社のTang¹⁾らが低電圧駆動、高輝度発光が可能なアモルファス発光層を有する積層型有機電界発光素子を発表した後は、実用を目標に研究開発が盛んに行なわれている^{2)~5)}。Tangらの成功の要因は、ITO電極上にホール輸送層と電子輸送性発光材料を順次積層し、電子とホールの再結合が効率良く行なわれるための再結界面を形成したことにより、現在の多くの研究はこの基本的なシングルヘテロ型の素子構造を用いて行なわれている。

既に緑色発光素子では寿命1万時間を超え⁶⁾、商品化の段階にあるが、青色、赤色発光材料に関しては、まだまだ研究開発の段階で、色純度の良い、高輝度、高発光効率の材料が望まれている。

我々は、有機EL素子の将来におけるフルカラーディスプレイの可能性を検証することを目的として研究を開始した。RGBマルチカラー化には、TFTを用いるアクティブマトリックス、微小共振器構造を用いる多色化、白色発光にカラーフィルタを組み合わせた方法、青色発光にCCMを用いる方法などの様々な方法が提案されている。我々は、単純マトリックスがRGBを構成するEL素子のパターン形成がシンプルな構造である点、また原理的に発光効率が高い点に注目し、この方法で検討を行った。研究を開始したのが後発ながら、第56回応用物理関係連合講演会（1995年度秋期）にて「有機LED単純マトリックス素子のRGB発光」と題して、有機EL素子の単純マトリックスにおけるRGB発光に関して初めて発表することができた⁷⁾。本講演では、色純度が改善された新規青色発光材料を用いた8×9（3RGB）マルチカラー素子の単純マトリックス発光を中心に、マルチカラー素子を構成する有機EL素子に要求される特性について述べる。

2. マルチカラー素子を構成する有機EL素子

1) 基本的な素子構造

有機電界発光素子は、基本的にアノードとカソードの間に有機層を挟み込んだ構造であり、その有機層が以下の機能を有することを特徴としている。

- (1) 正孔注入、輸送層を有すること
- (2) 発光層である再結合層を有すること

(3)電子注入、輸送層を有すること

もちろん、上記の条件を一つの層がすべてかね備えても構わない。また、有機層の作製方法も様々であり、真空蒸着法、ポリマー分散型スピンコート法、スクリーン印刷法等、様々な方法が考えられるが、水分や酸素等の影響による発光効率の低下、寿命の短命化の報告もあり、理想的にはこれらの影響をすべて排除したほうがよいと考えられる。従って、本講演で用いたすべての実験用素子は、これらの影響が相対的に少ないと考えられる真空蒸着法を用いて作製された低分子蒸着系である。

素子構造は、シングルヘテロ型とダブルヘテロ型に大別できる。基本的なダブルヘテロ構造を図1に示す。

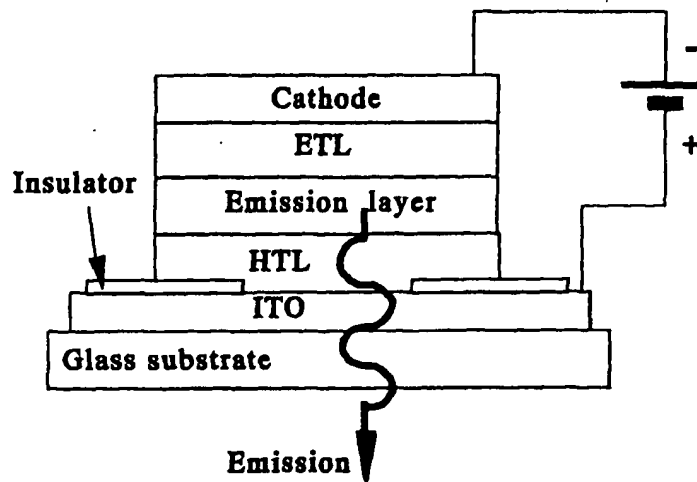


図1 ダブルヘテロ型の基本的な素子構造

通常は発光を外部に取り出すために、アノードにはインジウム錫酸化物（ITO）の透明電極を用いる。カソード材料には、発光層に電子を効率良く注入するために、仕事関数の低い金属材料を用いる。具体的にはアルカリ土類金属を中心とする金属が考えられ、例えばCa、Ba、Mg、Li等の単体、或いはAlLiやMgAg合金などが挙げられる。

単純マトリックスを作製するためには、パターンを形成するための絶縁層が必要不可欠であるが、代表的な絶縁材料であるSiO₂を絶縁層として用いた場合、ピンホール等により生ずる漏れ電流のために、均一な発光を得ることは困難である。我々は検討の結果、絶縁材料に有機材料を用いてパターンニングすることでこの問題を解決している。用いている材料はフォトポリマーの一種で、絶縁層のエッジ形状が滑らかな形になり、エッジからの漏れ電流を防ぎ、蒸着されたカソードとITO間の絶縁性を得ることができる。

2) マルチカラー素子に用いられた有機材料

RGBマルチカラー素子を作製する際には、ITO基板上にホール輸送材料として一般的に用いられるm-MTDATA、TPDを積層した後に、電子輸送性発光材料をRGBそれ

ぞれの色に対して積層している。

緑色にはアルミキノリン錯体である Alq_3 を用いた。赤色には Alq_3 をホスト材料に、ゲスト材料としてレーザー色素であるDCMをドーピングした。青色は、電子輸送性を持つ青色発光材料で青色発光素子を得ることを目的として検討した結果、2つの亜鉛原子に3つの配位子が結合したユニークな構造を持つ電子輸送性青色発光材料である亜鉛複核錯体 $\text{Zn}_2(\text{oxz})_3\text{Cl}$ (tris[2-(2-hydroxyphenyl) benzoxazolato]dizinc(II)chloride)を開発することができた。 $\text{Zn}_2(\text{oxz})_3\text{Cl}$ の構造は図2のような複核錯体構造であり、合成された $\text{Zn}_2(\text{oxz})_3\text{Cl}$ の溶液中での最大吸収波長は370nm、最大蛍光波長は460nmであった。

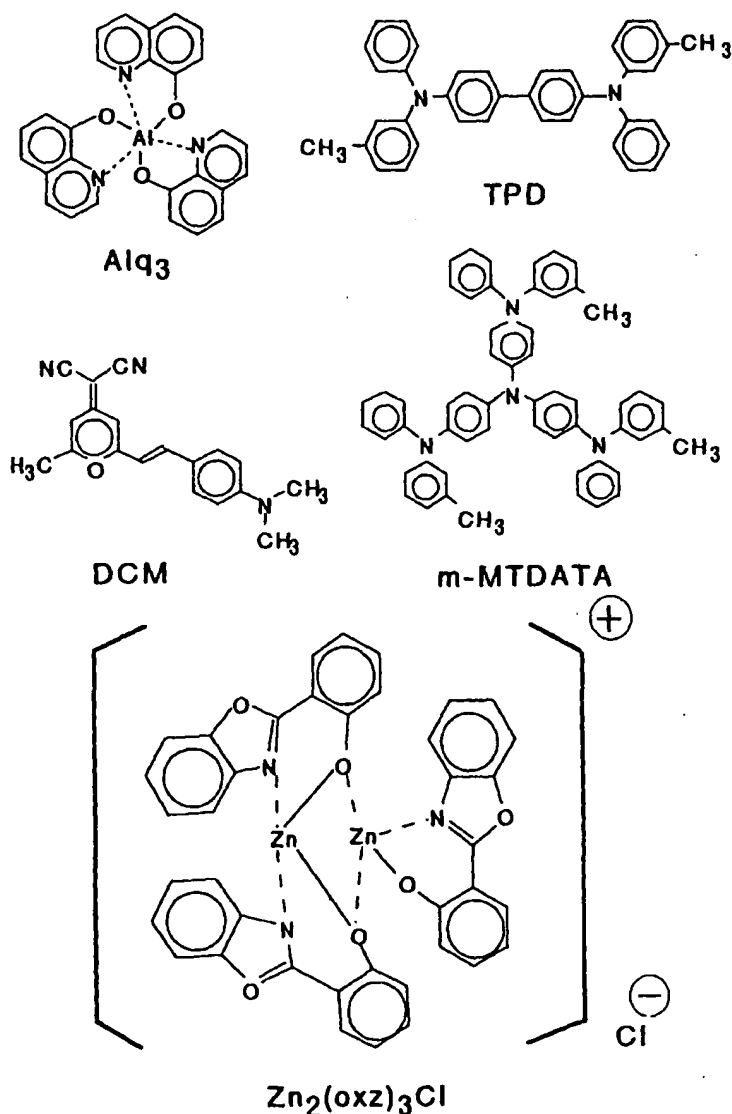


図2 RGBマルチカラー素子の作製に用いられた有機材料

3) マルチカラー単純マトリックスの作製

8×9 (3RGB) 単純マトリックス作製に用いた基板は、30mm角ガラス基板上に、ITOをライン側電極として幅2.0mm、間隔0.54mmで8本形成し、またコラム側には絶縁層が幅1.0mm、間隔1.54mmで10本形成されている。従って、1つのELセルの発光領域は $1.54 \times 2.0 \text{ mm}^2$ であり、開口率は52.6%となる。

このITO基板上に有機層、金属カソード電極を真空度 $1 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ 以下で抵抗加熱法にて真空蒸着を行い有機EL素子を作製した。有機層およびカソード電極の蒸着に用いるマスクをRGB用に3枚用意し、真空中でマスクを交換することで真空一貫のプロセスでRGBマトリックスを完成させている。

ITO基板上にm-MTDATAを700Å蒸着した後、TPDを200Å蒸着してホール輸送層を形成した。発光層の膜厚は500Åとし、RGBそれぞれにG: Alq₃ B: Zn₂(oxz)₃Cl R: Alq₃+DCMを蒸着した。Alq₃+DCMのDCM濃度は、ホール輸送層との界面が最も高く、発光層膜厚が厚くなるに従ってDCM濃度が減少するように濃度勾配をつけて蒸着した。その後、カソードとしてアルミニウムを蒸着した。蒸着速度は有機層は $\sim 3 \text{ Å/s}$ 、カソードは $\sim 10 \text{ Å/s}$ になるように蒸着制御電流をコントロールした。作製された単純マトリックスの模式図を図3に示す。

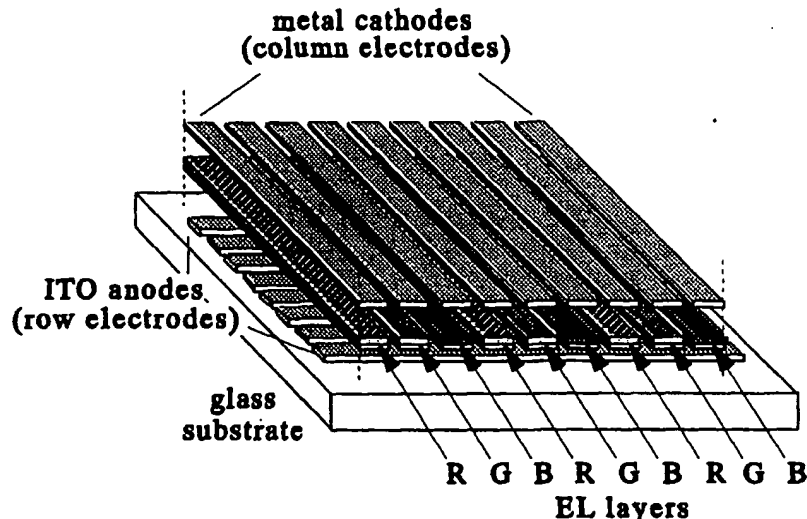


図3 RGB単純マトリックスの模式図

4) カソード電極と整流性

単純マトリックスを駆動するためにELセルに必要とされる特性は、逆電圧に対して十分に絶縁性を保つことである。単独のセルと単純マトリックスのセルとの違いは、単純マトリックスでは、必ず各ELセルに逆電圧が印加されることである。単独セルにおけるこの逆電圧に対する特性が、ほぼ完全に逆電流を止めてしまう特性でない限り、単純マトリックスではクロストークが発生し、ディスプレイとしては致命的な欠陥となってしまう。

我々は、当初、発光の閾値電圧が低く、高発光効率のELセルを作製することができ、MgAgをカソードとして用いてきた。しかし、MgAgを用いたELセルは順方向の特性は良いが、逆方向の絶縁性が極めて悪く、順方向と同程度の電圧から電流が流

れてしまった。この結果、クロストークが発生し、RGBの各色を構成するセルの中で、最も発光効率が高く、発光の閾値電圧の低いGに電流が集中し、Gが特異的に高輝度になり、十字状に点灯してしまった。カソード材料に関して検討を行ったところ、アルミニウム或いはアルミニウム合金が整流性の点で優れた特性を持つことを見出した。MgAg電極の整流性が劣る原因は、明確には解明していないが、Agの存在が影響していると考えている。AgまたはMgAg合金の仕事関数がITOと同程度なためではないかと推定している。

図5に示すようにアルミニウムをカソード電極として用いることで-20V程度まではほとんど電流が流れず、整流比は 10^5 程度が得られた⁹⁾。さらにAlLi合金系では順方向特性も改善され、整流比は 10^8 程度を得ることができている⁹⁾。

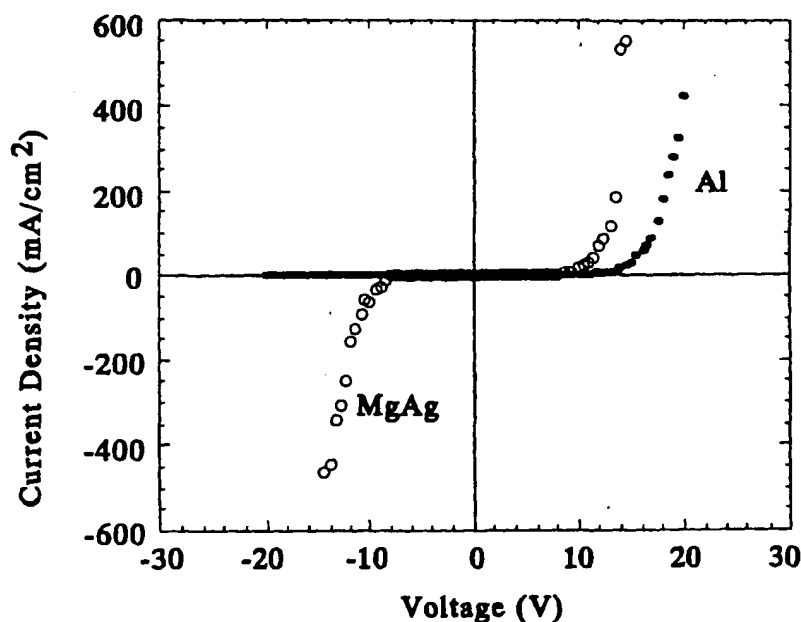


図4 カソード電極によるELセルの整流性の違い
(セル構造: TPD / Alq₃ / カソード)

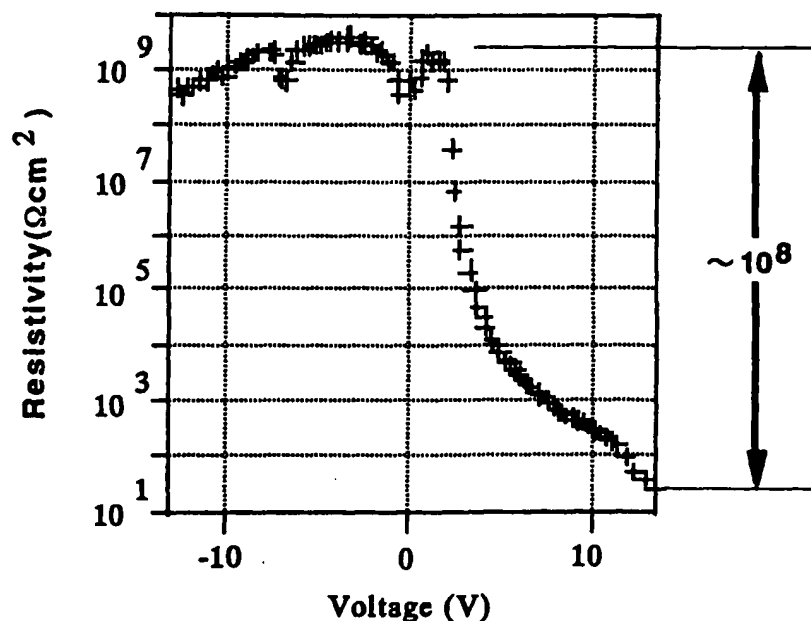


図5 AlLi合金電極における整流性
(セル構造: TPD/Alq₃/AlLi合金電極)

5) マルチカラー素子を構成するEL素子に要求される特性

要求されるELセルへの特徴としては、単色の単純マトリックスを構成する際には、この整流性が良く、発光閾値電圧が低い特性を持つELセルであればよい。順方向電圧の印加時に十分な輝度が得られ、その印加電圧と同じ大きさの逆方向電圧の印加時に整流性が確保できればよい。しかし、RGBマルチカラー単純マトリックスにおいては、さらにRGB各色の整流性、発光閾値電圧、電流-電圧特性等がほぼ等しい特性である必要がある。

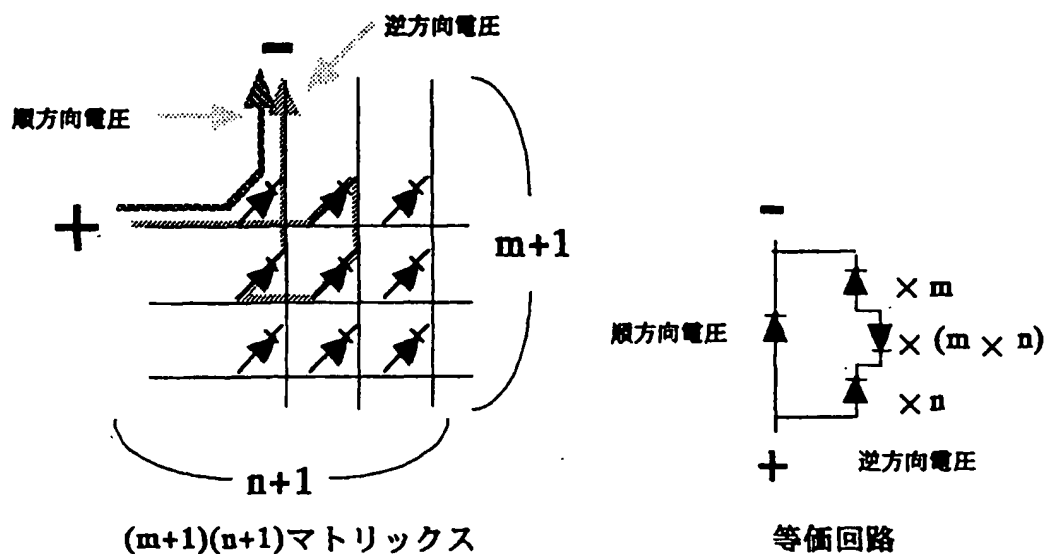


図6 (m+1)(n+1)マトリックスと等価回路

ここで図6に示すように、 $(m+1) \times (n+1)$ 単純マトリックス素子でRow側電極スイッチをフロートとした場合、1つの素子に電流を流した場合でも、全てのセルに電圧が印加される。そして、この電圧が印加された素子と同じ行列に存在しないセルの数は $m \times n$ 個あり、全て並列に接続され逆方向に電圧が加わることになる。そのために、ELデバイスの整流比としてはマトリックス画素数の一桁程度大きな値が要求されることになる。ここでRGBの各色で整流性の特性が極端に異なる場合は、最も特性の悪い素子によって単純マトリックスの特性が決定されてしまう。ELの輝度は、ほぼ電流に比例するので、電流制御型の駆動回路によって制御することになるが、電流-電圧特性、発光閾値電圧に大きな差がある場合には、外部駆動回路によって電流制御を行うことも困難になる。

また、他の重要な問題としては、ITO電極を用いる場合のライン方向の電圧降下が挙げられる。単純マトリックスを作製する際には、この電圧降下が必ず問題になる。この電圧降下の大きさは、ITO電極の比抵抗、ITOの表面状態等の多くの要素によって決まるが、今回試作した、 8×9 (3RGB) 単純マトリックスにおいても、数Vの電圧降下が存在している。この電圧降下を防ぐためのITO基板、また外部駆動回路の改良等が必要である。これらの問題点が解決されたとき、図5の結果からGで得られた 10^8 の整流比が、残りのR、Bでも同様に得られたならば、 10^7 程度の画素数のRGBマルチカラー単純マトリックスを作製することができるということになる。

3. RGBマルチカラー単純マトリックスの特性

1) 亜鉛複核錯体青色発光材料 ($Zn_2(oxz)_2Cl$) を用いた青色発光素子の特性

$Zn_2(oxz)_2Cl$ を電子輸送性発光層として用い、RGBマルチカラー単純マトリックスの青色発光素子部を形成した。青色発光素子の特性は、直流4Vから発光を開始し、10Vで 200cd/m^2 で発光し、CIE(0.17, 0.17)であった。最大発光波長は460nmであり、溶液中の最大蛍光波長と同じであることから励起一重項状態からの発光であると考えられた。色度は単核亜鉛錯体 $Zn(oxz)_2$ の(0.21, 0.27)と比較して改善されている。図7にRGB各色の発光スペクトルを、図8にCIE色度図を示す。図8に示すようにRGBそれぞれの色の色度はR(0.62, 0.36)、G(0.32, 0.53)、B(0.17, 0.17)であった。この結果は有機ELが単純マトリックスでカラーフィルター無しでフルカラー表示が可能なことを示しているが、得られたRGBのトライアングルはNTSC標準よりも小さいので、ドーピング等を施すことにより色度の更なる改善が求められるであろう。

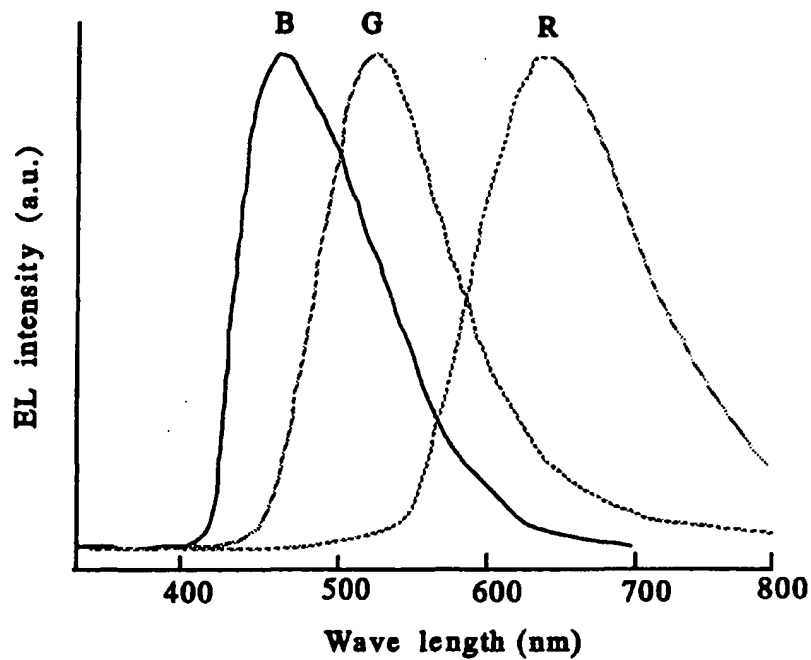


図7 RGB各色の発光スペクトル

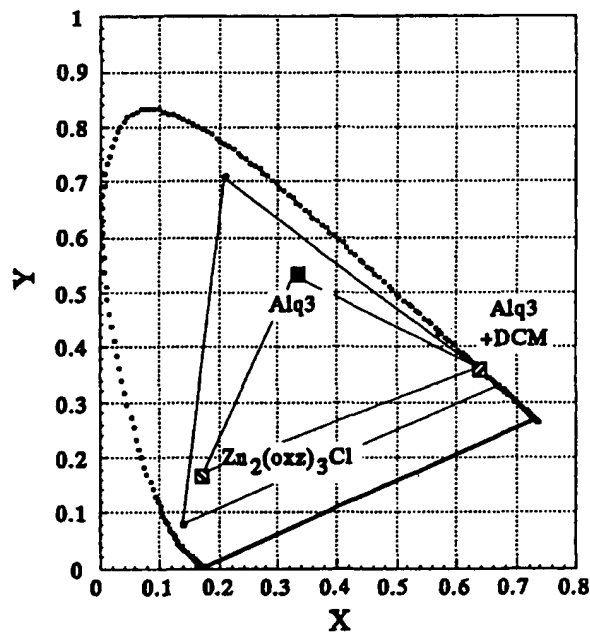


図8 CIE色度図

このマルチカラーRGB単純マトリックスをビデオレート（デューティ比1/256、 $63.5\mu\text{S}$ で間欠点灯）で全面間欠点灯したところ、各色とも $10\text{cd}/\text{m}^2$ 以上の輝度が得られた。これは各色ともピーク輝度が $2500\text{cd}/\text{m}^2$ 以上であることに相当している。さらに高輝度を目指すためには、RGB各色の単独セルにおける発光効率、最大輝度等の向上が必要である。

4. まとめ

有機EL素子を用いたフルカラーディスプレイの可能性を検討するために、 $1.54 \times 2.0 \text{ mm}^2$ の画素サイズで 8×9 (3RGB) マルチカラー単純マトリックスを真空蒸着法で作製した。青色発光材料の $\text{Zn}_2(\text{oxz})_3\text{Cl}$ は、CIE(0.17, 0.17)、最大発光波長460nmの良好な青色発光を示した。このマルチカラー単純マトリックス素子をビデオレートで全面間欠点灯したところ、各色とも 10 cd/m^2 以上の輝度が得られ、このことは各色のピーク輝度が 2500 cd/m^2 以上であることに相当した。これらの結果は有機ELが単純マトリックスでカラーフィルター無しでフルカラー表示が可能なことを示している。

単純マトリックスを構成する有機EL素子には、整流性の良い特性が要求され、カソードにアルミニウムあるいはアルミニウム合金を用いることで、 10^8 程度の整流比が得られた。さらに、マルチカラーを構成する有機EL素子には、RGB各色の整流性、発光閾値電圧、電流-電圧特性等がほぼ等しい特性であることが要求され、高輝度化のためにはRGB各色の特性向上が望まれる。

参考文献

- 1) C. W. Tang and S. A. VanSlyke, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 913(1987)
- 2) C. Adachi, S. Tokito, T. Tsutsui and S. Saito, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**, 269 (1988)
- 3) C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, *J. Appl. Phys.*, **65**, 3610 (1989)
- 4) R. F. Service, *Science*, **273**, 878 (1996)
- 5) Y. Sato, *Technical report of IEICE*, **OME 94-78**, 1 (1995)
- 6) C. W. Tang, *SID 96 Digest*, 181 (1996)
- 7) 鬼島靖典, 浅井伸利, 岸井典之, A. ハドソン, 田村眞一郎, 第56回応用物理学会学術講演会予稿集, 1029 (1995)
- 8) Y. Kijima, N. Asai, N. Kishii and S. Tamura, *IEEE Trans. Electron Devoces.*, **44**, 1222 (1997)
- 9) 浅井伸利, 鬼島靖典, 岸井典之, 小山田光明, 田村眞一郎, 第43回応用物理学会関連連合講演会予稿集, 1417 (1995)

RGB Multicolor Element

Sony Corporation Central Research Center

KIJIMA Yasunori

1. Introduction

An organic electroluminescence element (organic EL element) has characteristics of low voltage driving, self-light emission, thinness, and the like and receives much attention as a candidate for the next-generation flat panel display. Forty companies or more private enterprises including leading electric equipment manufacturers, chemical companies, and the like besides universities within the country participate in research of the organic EL, and research and development has been actively performed. An electroluminescence phenomenon due to an organic compound arose from discovery of light emitting phenomenon by anthracene single crystal in the first half of 1960s, and has been studied as a basic study of carrier implantation into an organic material for a long time. However, after Tang¹⁾ and others of Kodak published in 1987 a stacked type organic electroluminescence element having an amorphous light emitting layer which enables driving with low voltage and light emission with high luminance, research and development has been performed actively having an object of a practical use^{2) to 5)}. A factor of success of Tang and others is to stack a hole transferring layer and an electron transferring light emitting material in order over an ITO electrode, and to form a recombination face for performing efficiently recombination of an electron and a hole, and many of researches at

present are performed by using this basic single hetero type element structure.

A green light emitting element of which lifetime is already over ten thousand hours⁶⁾ is in a commercialized stage; however, blue and red light emitting materials are still in research and development stage, and a material having high color purity, high luminance, and high light emitting efficiency is desired.

We started research having an object of verifying the possibility of full-color display in future of an organic EL element. Various kinds of methods are proposed for RGB multicoloring, such as an active matrix using TFTs, multicoloring using a structure of a micro-resonator, a method of combining color filters with white light emission, or a method of using CCM for blue light emission. We paid attention to respects that a pattern of an EL element in which a simple matrix constitutes RGB was formed with a simple structure and has high light emitting efficiency in principle, and performed investigation in such a manner. We were backward in starting research; however, we could publish for the first time about RGB light emission in a simple matrix of an organic EL element, entitled 'RGB light emission of an organic LED simple matrix element' in the 56th lecture meeting of the union allied with the Japan Society of Applied Physics (the autumn session in 1995)⁷⁾. The characteristics required for an organic EL element constituting a multicolor element is described, mainly about simple matrix light emission of an 8 x 9 (3RGB) multicolor element using a new blue light emitting material in which the color purity is improved in the present lecture.

2. An organic EL element constituting a multicolor element

1) A basic element structure

An organic electroluminescence element has a structure which basically interposes an organic layer between an anode and a cathode, characterized in that the organic layer has the following functions:

- (1) having hole implanting, and transferring layers**
- (2) having a recombined layer of a light emitting layer**
- (3) having electron implanting, and transferring layers.**

Of course, it does not matter whether one layer combines all the aforementioned conditions. Besides, there are various manufacturing methods of the organic layer, and the various methods can be suggested such as a vacuum evaporation method, a polymer distributed spin coat method, or a screen printing method; however, since lowering of light emitting efficiency and shortening of lifetime due to the influence of moisture, oxygen, or the like are reported, ideally, it seems desirable to exclude the influences of those entirely. Therefore, all the elements for experiment used in the present lecture are low-molecular evaporation series manufactured by a vacuum evaporation method which seems that there is relatively few influence of those.

An element structure can be classified roughly into a single hetero type and a double hetero type. Fig. 1 shows a basic double hetero structure.

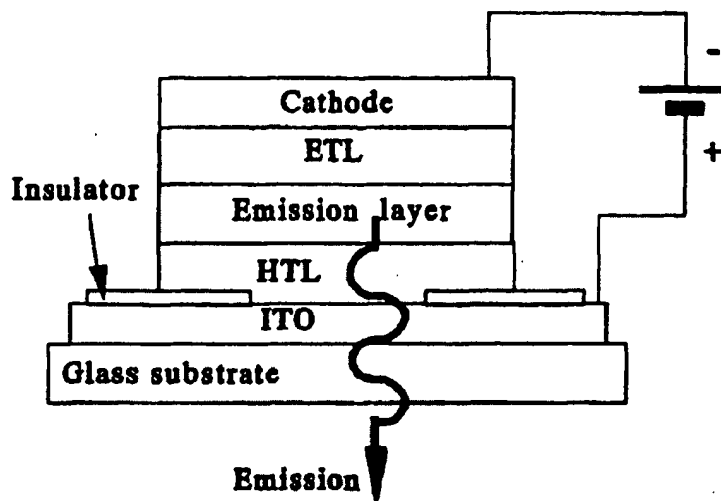


Fig. 1 A basic element structure of a double hetero type

A transparent electrode made of indium tin oxide (ITO) is normally used for an anode to take out the light emission to the outside. A metal material having low work function is used for a cathode material in order to implant electrons into a light emitting layer efficiently. Metal in which alkali earth metal is main is considered specifically, for example simple metal such as Ca, Ba, Mg or Li; AlLi or MgAg alloy; or the like.

An insulating layer for pattern formation is essential for manufacturing a simple matrix, and when SiO_2 of a typical insulating material is used for the insulating layer, it is difficult to obtain uniform light emission due to a leak current caused by a pin hole or the like. As a result of investigation, we resolve this problem by patterning using an organic material for an insulating material. Since the material used is a kind of photopolymer, an edge of the

insulating layer is to be smooth, so that a leak current from the edge is prevented, and consequently the insulation between an evaporated cathode and the ITO can be obtained.

2) An organic material used for a multicolor element

In the case that an RGB multicolor element is manufactured, after m-MTDATA and TPD which are generally used for a hole transferring material are stacked over an ITO substrate, electron transferring light emitting materials are stacked with respect to respective colors of RGB.

Alq₃ of an alumiquinoline complex was used for a green color. Alq₃ as a host material was doped with DCM of a laser pigment as a guest material in a red color. In a blue color, as a result of investigation having an object that a blue color light emitting element is obtained by using a blue color light emitting material having electron transference, a zinc binuclear complex Zn₂(oxz)₃Cl (tris[2-(2-hydroxyphenyl)benzoxazolato]dizinc(II)chloride) of the electron transferring blue color light emitting material having an unique structure where three ligands are combined to two zinc atoms could be developed. The structure of Zn₂(oxz)₃Cl is a binuclear complex structure shown in Fig. 2, and the maximum absorption wavelength in a solution of synthesized Zn₂(oxz)₃Cl was 370 nm and the maximum fluorescence wavelength was 460 nm.

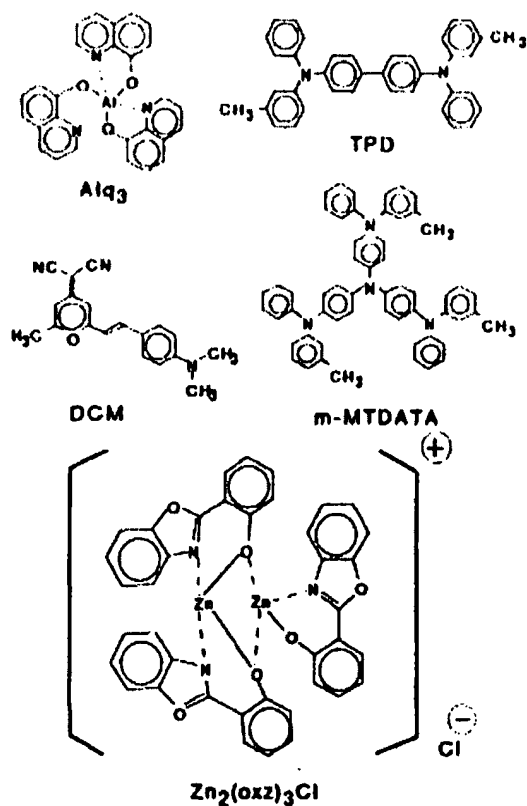


Fig. 2 An organic material used for manufacturing an RGB multicolor element

3) Manufacturing of a multicolor simple matrix

A substrate used for manufacturing of an 8 x 9 (3RGB) simple matrix is formed in such a way that eight ITOs are formed as electrodes on the line side each having a width of 2.0 mm and at intervals of 0.54 mm, and then ten insulating layers each having a width of 1.0 mm and at intervals of 1.54 mm are formed on the column side over a glass substrate of 30 mm square. Therefore, a light emitting region of one EL cell is 1.54 x 2.0 mm², and an aperture rate is 52.6%.

An organic layer and a metal cathode electrode were vacuum evaporated by a resistance heating method under the degree of vacuum of 1×10^{-6} Torr or less over this ITO substrate to manufacture an organic EL element. Three masks used for evaporation of the organic layer and the cathode electrode are prepared for RGB, and an RGB matrix is completed in one continuous vacuum process by exchanging the masks in vacuum.

After m-MTDATA was evaporated to have a thickness of 700 Å over the ITO substrate, TPD was evaporated to have a thickness of 200 Å, so that a hole transferring layer was formed. A film thickness of the light emitting layer is 500 Å, and respective RGB were evaporated with G: Alq₃, B: Zn₂(oxz)₃Cl, R: Alq₃+DCM. The evaporation was performed at a concentration gradient so that the DCM concentration of Alq₃+DCM becomes highest on the interface with the hole transferring layer and the DCM concentration is decreased as a film thickness of the light emitting layer becomes thick. Subsequently, aluminum was evaporated as a cathode. An evaporation control current was controlled so that the speed of evaporation is up to 3 Å /s in the organic layer and up to 10 Å /s in the cathode. Fig. 3 shows a schematic diagram of a manufactured simple matrix.

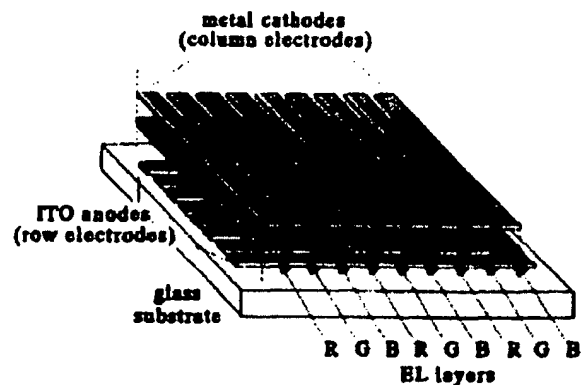


Fig. 3 A schematic diagram of a RGB simple matrix

4) A cathode electrode and rectification property

The characteristics required for an EL cell to drive a simple matrix are to keep enough insulation against a reverse voltage. Difference between a single cell and a simple matrix cell is that the reverse voltage is necessarily applied to each EL cell in the simple matrix. As far as the characteristics against this reverse voltage in the single cell are not the characteristics that make the reverse current stop almost completely, cross talk is generated in the simple matrix, which is a fatal defect for a display.

We at first used MgAg as a cathode which can manufacture an EL cell having a low threshold voltage of light emission, and high light emitting efficiency. However, with reference to the EL cell using MgAg, characteristics in a forward direction were satisfactory, but the insulation of a reverse direction was extremely unsatisfactory, so that a current flowed from comparable voltage to that of the forward direction. As the result, the cross

talk was generated, the current was concentrated on G having the highest light emitting efficiency and low threshold voltage of light emission among cells composing respective colors of RGB, and G had peculiarly high luminance and was lit to be a cross shape. As a result of investigation relating to a cathode material, it was found that aluminum or an alloy of aluminum has the excellent characteristics in respect of rectification property. A cause that the rectification property of an MgAg electrode is inferior, which is not made clear, is considered to lie in an effect of Ag. The cause is supposed that the work function of Ag or an alloy of MgAg is comparable to that of ITO.

The current hardly flows up to about -20 V by using aluminum as a cathode electrode and the rectification ratio of about 10^5 was obtained⁸⁾ as shown in Fig. 5. Furthermore, the forward direction characteristics are improved in an alloy of AlLi series, and the rectification ratio of about 10^8 is obtained⁹⁾.

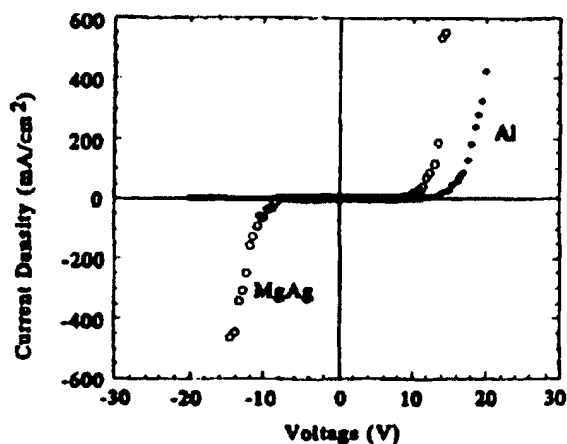


Fig. 4 Difference of rectification property of an EL cell by a cathode electrode (cell structure: TPD/ Alq₃/ cathode)

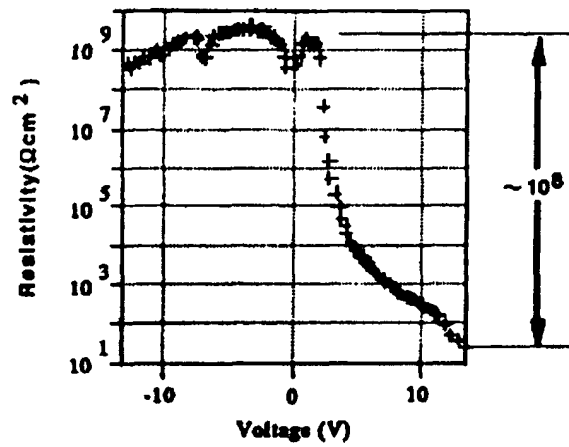


Fig. 5 Rectification property in an AlLi alloy electrode
(cell structure: TPD/ Alq₃/ AlLi alloy electrode)

5) Characteristics required for an EL element composing a multicolor element

With reference to the required characteristics to an EL cell, in the case that a simple matrix of a single color is constituted, an EL cell only needs to have characteristics of excellent rectification property and low light emitting threshold voltage. The EL cell only needs to obtain enough luminance at application of a forward direction voltage and keep the rectification property at application of a reverse direction voltage which is equal to the application voltage. However, it is further required that characteristics such as the rectification property, the light emitting threshold voltage or current-voltage characteristics of respective colors of RGB are almost equal in the RGB multicolor simple matrix.

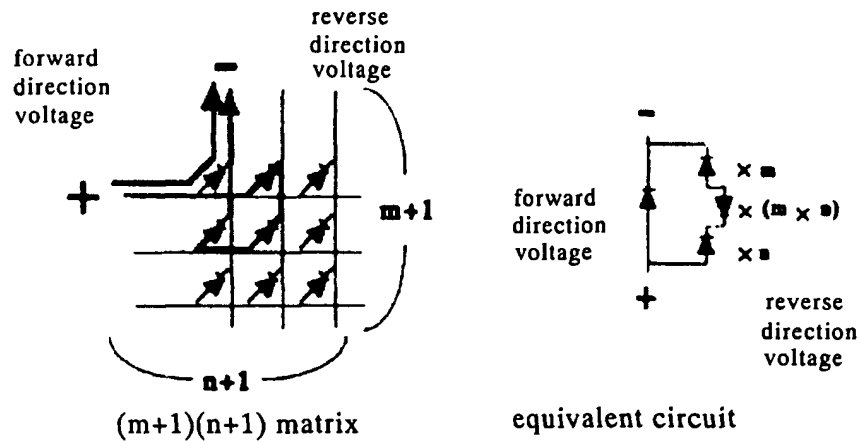


Fig. 6 $(m+1)(n+1)$ matrix and an equivalent circuit

As shown in Fig. 6 here, in the case that an electrode switch on Row side is made to float in $(m+1) \times (n+1)$ simple matrix elements, a voltage is applied to all the cells even when a current is fed to one element. Then, the number of cells which do not exist on the same matrix as the element to which this voltage is applied is $m \times n$, and all of them are connected in parallel and the voltage is applied in the reverse direction. Accordingly, a value which is about one digit larger than the number of matrix pixel is requested as the rectification ratio of the EL device. When the characteristics of rectification property are extremely different in respective colors of RGB, the characteristics of the simple matrix is decided by the element having the worst characteristics. The luminance of the EL is almost in proportion to a current, which is controlled by a driving circuit of current control type; however, it is also difficult to control the current by an external driving circuit when there is a large difference in the current-voltage characteristics and the light emitting

threshold voltage.

Besides, as another important problem is given that voltage decreases in a line direction in the case of using an ITO electrode. In the case of manufacturing the simple matrix, the problem of this voltage decrease necessarily arises. The quantity of this voltage decrease is decided by many factors such as resistivity of the ITO electrode or a surface condition of ITO, and the voltage decrease of several V exists in an 8 x 9 (3RGB) simple matrix manufactured by the way of trial this time. It is required to improve an ITO substrate, the external driving circuit or the like for preventing this voltage decrease. When these problems are resolved, and if the rectification ratio of 10^8 obtained in G from a result of Fig. 5 is obtained in the remaining R and B in the same way, the RGB multicolor simple matrix having the number of pixels of about 10^7 can be manufactured.

3. Characteristics of an RGB multi-color simple matrix

1) Characteristics of a blue color light emitting element using a zinc binuclear complex blue color light emitting material ($\text{Zn}_2(\text{oxz})_3\text{Cl}$)

A blue color light emitting element portion of an RGB multicolor simple matrix was formed by using $\text{Zn}_2(\text{oxz})_3\text{Cl}$ for an electron transferring light emitting layer. The characteristics of the blue color light emitting element were that light emission started from at 4 V of a direct current, and the light emission at 10 V was 200 cd/m^2 with CIE (0.17, 0.17). Since the maximum light emitting wavelength was 460 nm that is the same as the

maximum fluorescence wavelength in a solution, it seemed to be light emission from an excited singlet state. The chromaticity has been improved compared with (0.21, 0.27) of a mononuclear zinc complex $\text{Zn}(\text{oxz})_2$. Fig. 7 shows light emitting spectrums of respective colors of RGB, and Fig. 8 shows a CIE chromaticity diagram. As shown in Fig. 8, the respective chromaticities of RGB were R (0.62, 0.36), G (0.32, 0.53), and B (0.17, 0.17). This result shows that an organic EL can perform full-color display by a simple matrix without color filters; however an obtained triangle of RGB is smaller than that of the NTSC standard, so that further improvement of chromaticity will be required by performing doping or the like.

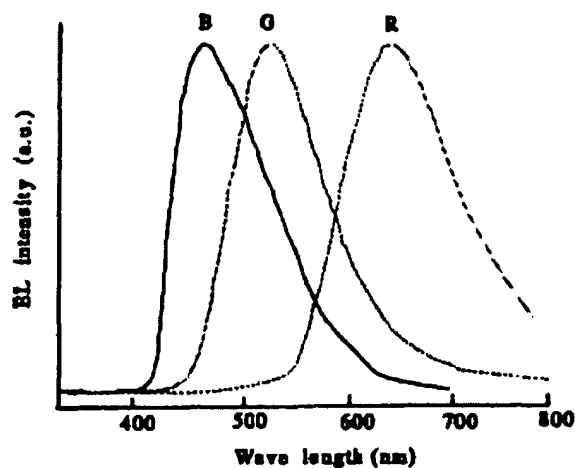


Fig. 7 Light emitting spectrum of respective colors of RGB

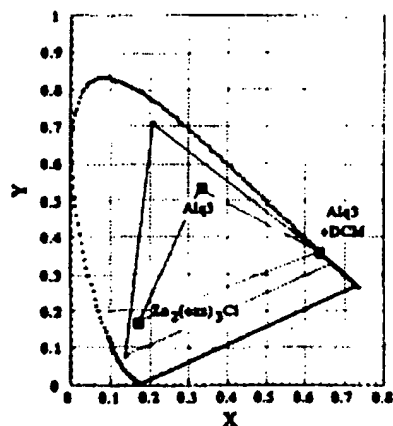


Fig. 8 CIE chromaticity diagram

When this multicolor RGB simple matrix was entirely lit intermittently at the video rate (duty ratio is 1/256, and intermittent lighting is $63.5 \mu\text{S}$), the respective colors obtained the luminance of 10 cd/m^2 or more. It is equivalent to that the peak luminance of each color is 2500 cd/m^2 or more. It is required to improve the light emitting efficiency, the maximum luminance or the like in a single cell of respective colors of RGB in order to obtain further high luminance.

4. Conclusion

An 8×9 (3RGB) multicolor simple matrix of which pixel size is $1.54 \times 2.0 \text{ mm}^2$ was manufactured by a vacuum evaporation method in order to investigate a possibility of full-color display using an organic EL element. $\text{Zn}_2(\text{oxz})_3\text{Cl}$ of a blue color light emitting material showed satisfactory blue color light emission having CIE (0.17, 0.17) and the maximum light emitting

wavelength of 460 nm. When this multicolor simple matrix element is entirely lit intermittently at the video rate, the respective colors obtained the luminance of 10 cd/m^2 or more, which is equivalent to that the peak luminance of respective colors is 2500 cd/m^2 or more. These results show that the organic EL can perform full-color display by the simple matrix without color filters.

The organic EL element composing the simple matrix is required to have the characteristics having satisfactory rectification property, and the rectification ratio of about 10^8 was obtained by using aluminum or an alloy of aluminum for a cathode. Furthermore, the organic EL element composing the multicolor is required to have the characteristics that the rectification property, the light emitting threshold voltage, the current-voltage characteristics or the like in respective colors of RGB are almost equal, and it is desired to improve the characteristics of respective colors of RGB in order to make luminance high.

Reference

- 1) C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett., 51, 913 (1987)
- 2) C. Adachi, S. Tokito, T. Tsutsui and S. Saito, Jpn. J. Appl. Phys., 27,269 (1988)
- 3) C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, J. Appl. Phys., 65,3610 (1989)
- 4) R. F. Service, Science., 273,878 (1996)
- 5) Y. Sato, Technical report of IEICE., OME 94-78, 1 (1995)

- 6) C. W. Tang, SID 96 Digest, 181 (1996)
- 7) KIJIMA Yasunori, ASAI Nobutoshi, KISHII Noriyuki, A. Hudson, and TAMURA Shinichiro, proceedings of the 56th Japan Society of Applied Physics Academic Meeting, 1029 (1995)
- 8) Y. Kijima, N. Asai, N. Kishii and S. Tamura, IEEE Trans. Electron Devoces., 44, 1222 (1997)
- 9) ASAI Nobutoshi, KIJIMA Yasunori, KISHII Noriyuki, OYAMADA Koumei and TAMURA Shinichiro, proceedings of the 43rd lecture meeting of the union allied with the Japan Society of Applied Physics, 1417 (1995)